

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2009～2011

課題番号：21246089

研究課題名（和文）室内環境形成寄与率 CRI の時間応答モデル開発とエネルギーシミュレーションへの適用

研究課題名（英文）Development of time response model for contribution ratio of indoor climate(CRI) and its application into energy simulations

研究代表者

加藤 信介 (KATO SHINSUKE)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号：00142240

研究成果の概要（和文）：

不均一な室内環境では、室内に大きな温度空間分布と複雑な 3 次元熱輸送が生じ、空調の設定温度が還気口における空気温度と異なるため、従来の完全混合を仮定して空気ノード点の温度を用いるマクロシミュレーションを用いた熱負荷計算に大きな影響を及ぼすと考えられる。そこで、本研究では固定された流れ場における熱応答を事前に CFD 解析により算出しておくことで、室内の任意点における室温変化を非常に短い計算時間で解析可能なエネルギーシミュレーション手法を提案する。

研究成果の概要（英文）：

In non-uniform indoor environment, there would be a temperature distribution and complex 3-dimensional heat transfer. In this case, because the air temperature of the return air or exhaust is different from the setting temperature, the network model, which assumes a perfect mixing and does not consider the temperature distribution, is considered to be improper. In this study, we focus on the energy simulation considering temperature distribution for a period air-conditioning system.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	15,300,000	4,590,000	19,890,000
2010年度	9,000,000	2,700,000	11,700,000
2011年度	11,000,000	3,300,000	14,300,000
総計	35,300,000	10,590,000	45,890,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学 建築環境・設備

キーワード：エネルギーシミュレーション、時間応答、温熱環境形成寄与率 CRI、熱輸送、自然対流、計算流体力学 CFD

1. 研究開始当初の背景

建物のシミュレーションは、設備系、建物躯体系などを 1 次元に近似するネットワークモデルに基づいたマクロシミュレーションと対象空間を分割して室内の気流や温度などの分布を解析するミクロシミュレーションに大きく分けられる。前者はネットワー

クモデルで負荷や制御要素の時間変動解析が行われる。3 次元の様相を示す室内空間の値は、空調される室内では熱や物質がよく混合し、その性状は空間積分平均値などで良く代表されるため、輸送経路ではなくノード点として解析され、室内の空間分布は解析されない。このノード点の値を環境制御目標に保

つため、期間で必要となるエネルギー量が算出される。一方、CFD 解析に代表される後者は、室内の不均一な気流・温度の空間分布を解析する。ただし、その計算負荷が桁違いに大きいため、代表性のある負荷条件、室内条件の数ケースでの解析に限られることが多い。負荷変動に伴う期間のエネルギー使用量の算出も理論的には可能であるが、計算の莫大さから現実に行なわれることはほとんどない。結果、対象とされる室内空間だけでなく建物全体のエネルギー使用量の算出は殆ど不可能に近い。

そのため、不均一な室内の物理環境を利用して省エネルギー的に環境制御を行なうには、室内空間をノード点ではなく輸送経路として両者をカップリングした解析が必要になる。両者を単純に環境要素のノード点でカップルさせることで、時間変動する負荷に対応した環境目標を満たすシミュレーションを行なうことも理論的には可能である。しかし両者の単純なカップリングは、3 次元 CFD 解析の計算量が莫大となるため、長期にわたる解析は事実上不可能となっている。

2. 研究の目的

上述の背景の下で、CFD 解析は準備計算として行うのみに留め、長期にわたる時系列を対象としたエネルギーシミュレーションを実施する際には、CFD 解析により求められた熱の輸送配分を示す室内温熱環境形成寄与率 CRI を用いた計算手法の開発が進んでいる。この手法は、流れ場を固定することより熱輸送に関して、線形システムを仮定し、室内の変動温度分布は各々の熱源による影響の重ね合わせとするものである。CFD の定常計算により解析された室内気流による熱輸送性状を組み込んでいるため、従来の室内完全混合を仮定するモデルに比べ、より実現象に対応した結果を導く。

本研究では、期間空調システムのエネルギーシミュレーションを目指し、室内温熱環境形成寄与率 CRI の時間応答モデルの開発と、そのモデルをエネルギーシミュレーションに適用する手法を提案する。

3. 研究の方法

CRI のエネルギーシミュレーションへの組込方法に関して、図-1 のフローチャートで説明する。まず代表室内条件と代表熱負荷条件によって①対流・放射連成 CFD 解析を行い、代表熱負荷条件による室内の流れ場（空調時と非空調時）を計算する。次に代表熱負荷により形成された代表流れ場において、一つの熱源 m のみによる室内の温度分布 θ_m を②流体熱輸送解析によって計算し、空調時と非空調時における熱源 m の CRI 分布を算出する。この手順を全熱源について行う。ここまでは

準備計算である。

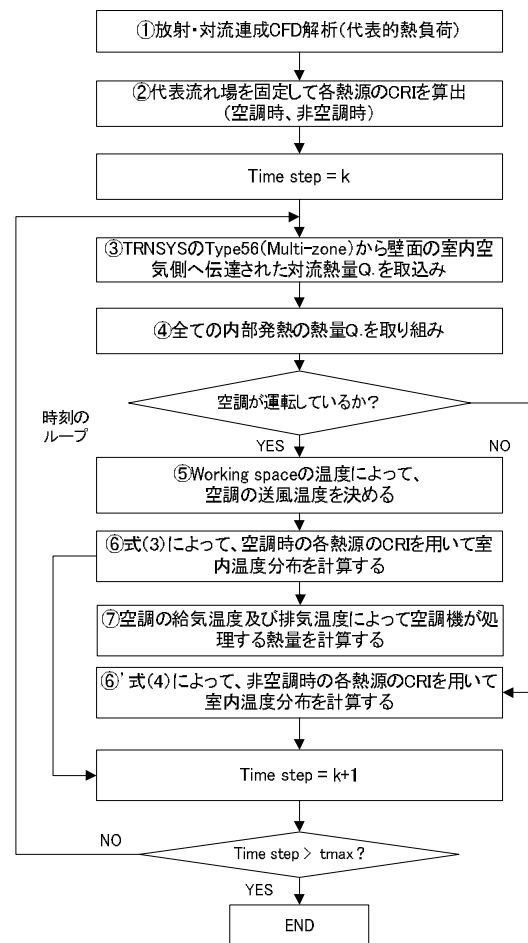


図-1 CRI を用いたエネルギーシミュレーションのフローチャート

次は、③タイムステップ k における TRNSYS (エネルギーシミュレーションソフトウェア) の Type56 から壁面の室内空気側へ伝達された対流熱量 Q_c を取込む。計算の最初段階ではこの Q_c は設定した初期温度によって算出される。放射熱輸送に関して、TRNSYS17 から計算対象の幾何形状を反映させ、形態係数を計算して詳細な長波放射シミュレーションができるようになる。したがって、壁体表面における熱バランスによって、壁体中の熱伝導、壁面の中の長波放射伝達熱量及び室内へ壁体から流入する対流熱量を精度よく計算できる。貫流熱量以外、④全ての内部発熱量 Q_i も取込む。空調の運転状態によって、空調時の CRI 分布または非空調時の CRI 分布を用いる。空調時には、⑤Working space の温度より空調の送風温度を決める。そして、⑥各熱源の CRI で温度分布を計算する。⑦空調の給気温度及び排気温度により空調機が処理する熱量を計算する。非空調時の場合では、非空調時の各熱源の CRI を使い、温度分布を

計算する。

その後、現在の時間ステップに1を加算し、そして最大計算ステップ数に満たすかどうかを判断する。最大ステップ数に未済の場合、③～⑦の操作を繰り返す。最大ステップ数を超えた場合、計算を終える。

4. 研究成果

ケーススタディとして行った、床吹き出し空調方式による室内温度成層を利用して居住域のみの温度制御を行うオフィスの熱負荷の計算結果を示す。

(1) 解析対象

図2に示す単室のオフィスを想定する。対象空間内部の大きさは長さ6m×奥行き5m×高さ3mである。対象室は空調設備として床吹き出し口を六つ、天井吸込み口を四つ備えている。

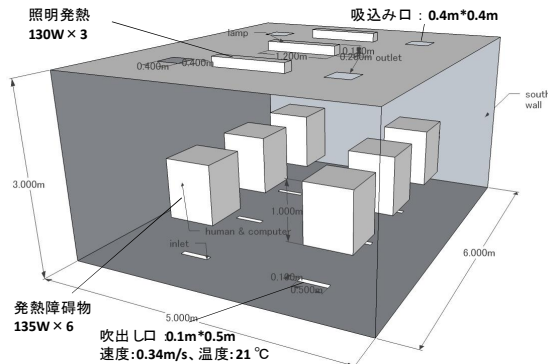


図-2 解析対象空間

(2) 解析結果

空気調和衛生工学会の東京冷暖房設計用気象条件を用いて夏季8/1～8/14の2週間の室内温度と冷房負荷を計算した。居住域を空調制御域とし、温度は26°Cに設定した。

図-3に、8月14日の空調給気温度、排気温度、外気温度、居住域温度及び冷房負荷を示す。空調時の居住域温度は設定の26°Cに維持しており、空調が停止した後、壁体の蓄熱の影響により温度が上がり、その後次第に下がる。空調時排気温度は約28°Cであり、居住域の温度より2°Cほど高くなっている。居住域の設定温度によって変化するが、空調給気温度は約18°C付近で推移する。冷房負荷は外気温度の上昇により若干上昇していく様子が見られる。

図-4と図-5に、8月14日の各壁面近傍(天井、床、北壁、南壁、西壁、東壁)および中心部の空気温度を示す。空調時居住域を設定温度(26°C)に維持した場合は、床を除きほとんどの壁面近傍領域の温度が26°Cより高くなる。その中、天井近傍は照明や上昇熱量の影響にうけ、33°Cに達する。南壁近傍は外壁の貫流熱量に大きい寄与を受けるため、時間経過とともに上昇している。床吹き出し口からの冷風が溜まっているため、床近傍の温

度は約22°Cと低くなる。中心部の空気温度は排気温度と概ね一致し、28°C前後となる。非空調時では、室内に大きい温度分布が見られなく、温度差は1°C以内であり、熱がよく混合していることが分かる。

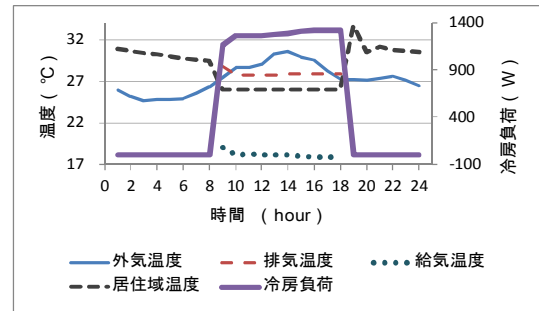


図-3 計算結果1

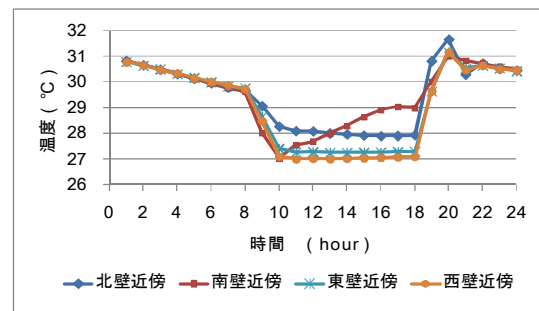


図-4 計算結果2

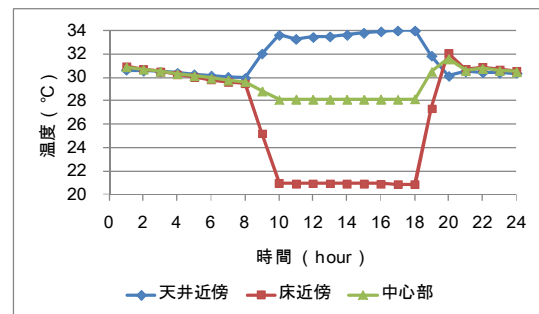


図-5 計算結果3

(3) 既往技術(質点モデル)との比較

本報告で提案するエネルギーシミュレーション手法による計算結果の比較として、同じ計算モデルを対象に、8/1～8/14の2週間の室内温熱環境の変化を、従来の完全混合を仮定した一質点モデルのエネルギーシミュレーションによる解析を行い、CRIを組込むモデル(以下CRIモデルと呼ぶ)の計算結果と比較する。

従来モデルの設定では、室空間は一つのノード点となる。気象データと壁体の物理条件はCRIモデルの設定と同様に設定する。

図-6に、同期間の冷房負荷の比較を示す。従来モデルで計算された冷房負荷(Qload-N)はCRIモデルの結果(Qload-CRI)と比べ高くなり、およそ20%の差が見られる。これはCRIモデルでは室内の温度分布を計算してい

るため、室内壁体表面近傍領域の温度が居住域温度より高くなることによる壁体からの貫流熱量の減少が再現された結果と考えられる。図-7 に室内平均温度の比較を示す。CRIモデルの場合 (T-CRI) では、居住域 (1.8m以下の空間) の温度は空調設定値の26°Cに維持している一方で、室内の平均温度は相対的に高くなり、28°C程度となっている。これは冷房負荷で考えると、従来モデルで室温を28°Cに設定する場合と同じとなる。結果としてCRIモデルは従来モデル (26°C設定) より冷房負荷が小さくなっていることがわかる。

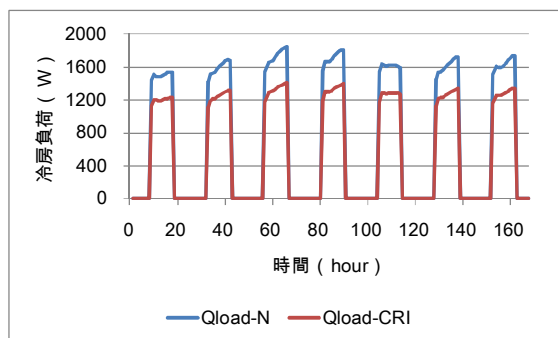


図-6 計算結果 4

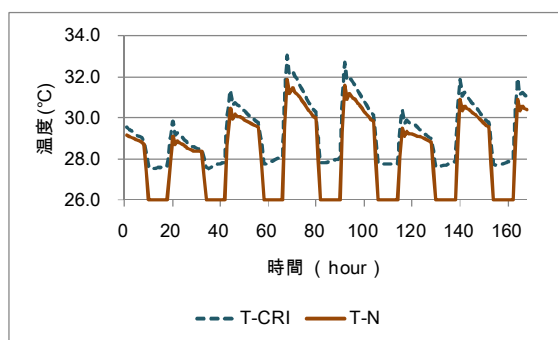


図-7 計算結果 5

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

- ① Weirong Zhang, Kyosuke Hiyama, Shinsuke Kato, Yoshihiro Ishida, Building energy simulation considering spatial temperature distribution for nonuniform indoor environment, Building and Environment, 査読有, Volume 63, 2013, 89-96
- ② 張偉榮、樋山恭助、加藤信介、石田義洋, 固定流れ場の熱応答を用いた熱環境シミュレーション, 第 3 報—室内温熱環境寄与率CRIをネットワークモデルに組込んだ期間エネルギーシミュレーション, 空気調和・衛生工学会論文集, 査読有り, 第 181 号, 2012, 21-32
- ③ 張偉榮, 加藤信介, 石田義洋, 樋山恭助, 自然対流場における一様分布吸熱源を設定した温熱環境形成寄与率の計算法および算出例, 生産研究, 査読無, 63 巻, 2011, 13-21
- ④ 張偉榮、加藤信介、石田義洋、樋山恭助、自然対流が支配するアトリウムにおける室内温熱環境寄与率CRIに関する研究、生産研究、査読無し、62 巻、2010 年、83-89 頁
- ⑤ Taro SASAMOTO, Shinsuke KATO, Weirong ZHANG, Control of indoor thermal environment based on concept of contribution ratio of indoor climate, Building Simulation An International Journal, 査読有, 3 巻, 2010, 263-278
- ⑥ 張偉榮, 加藤信介, 石田義洋, 樋山恭助, 自然対流場における一様分布吸熱源を設定した温熱環境形成寄与率CRIの計算法, 日本建築学会環境系論文集, 査読有, 75 巻、2010, 1033-1040

[学会発表] (計 10 件)

- ① 張偉榮、樋山恭助、加藤信介、石田義洋, 流れ場の変化による室内温熱環境形成寄与率CRIの感度に関する研究, 室内環境形成寄与率 CRI の時間応答モデル開発とエネルギーシミュレーションへの適用その 3, 日本建築学会大会, 2012. 9. 12-9. 14, 名古屋
- ② 張偉榮、樋山恭助、加藤信介, 室内温熱環境形成寄与率CRIを用いた室温分布を考慮するエネルギーシミュレーション, 日本空気調和・衛生工学会大会, 2012. 9. 5-9. 7, 札幌
- ③ Weirong Zhang, Kyosuke Hiyama, Shinsuke Kato, Building Energy Simulation by the Means of Coupling the Contribution Ratio of Indoor Climate (CRI) to Network Model, The Second International Conference on Building Energy and Environment, COBEE2012, 2012. 8. 1-8. 4, Bolder, USA
- ④ Weirong Zhang, Shinsuke Kato, Kyosuke Hiyama, Building Energy Simulation by CFD with Network Model, CHAMPS2012, 2012. 6. 1-6. 3, Tokyo, Japan
- ⑤ Weirong Zhang, Shinsuke Kato, Kyosuke Hiyama, Study on Characteristics of Indoor Heat Transfer in Non-Air Conditioned Environments, 5th International Building Physics Conference, IBPC, 2012. 5. 28-5. 31 Kyoto, Japan
- ⑥ Weirong ZHANG, Shinsuke KATO, Kyosuke HIYAMA, Yoshihiro ISHIDA, A new approach to couple building energy

simulation with CFD by means of CRI (contribution ratio of indoor climate), The 8th International Forum and Workshop on Combined Heat, Air, Moisture and Pollutant Simulations, 2011. 3. 22, 中国・南京

- ⑦ 張偉榮、加藤信介、樋山恭助、石田義洋、室内環境形成寄与率CRIの時間応答モデル開発とエネルギーシミュレーションへの適用その2、温熱環境形成寄与率CRIの自然対流の支配する室内熱伝達性状への適用、日本建築学会大会、2010. 9. 9, 富山
- ⑧ Weirong ZHANG, Shinsuke KATO, Yoshihiro ISHIDA, Kyosuke HIYAMA, Analysis of Heat Transfer by Convection and Radiation in an Atrium with Natural Convection by means of Contribution Ratio of Indoor Climate (CRI) based on CFD, CLIMA2010 Congress, 2010. 5. 11, トルコ・アンタルヤ
- ⑨ Weirong ZHANG, Shinsuke KATO, Building Energy Simulation Considering Temperature Distribution Based on CFD, The Alliance for Global Sustainability (AGS), 2010. 3. 17, Tokyo
- ⑩ 張偉榮、加藤信介、石田義洋、樋山恭助、室内環境形成寄与率CRIの時間応答モデル開発とエネルギーシミュレーションへの適用(その1) 既往のエネルギーシミュレーションにおける技術的課題の抽出と本研究の展望、日本建築学会大会、2009. 8. 27、仙台

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

加藤 信介 (KATO SHINSUKE)
東京大学・生産技術研究所・教授
研究者番号：00142240

(2) 研究分担者

大岡 龍三 (OOKA RYOZO)
東京大学・生産技術研究所・教授
研究者番号：90251470

樋山 恭助 (HIYAMA KYOSUKE)
東京大学・生産技術研究所・助教

研究者番号：10533664

(3) 連携研究者
無し